

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Energetické piloty a jejich využití pro získávání geotermální energie

Energy Piles and Their Utilization for the Geothermal Energy Extraction

Student:

Eliška Pavelková

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Eliška Pavelková**

Studijní program: B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3647R017 Geotechnika

Téma: **Energetické piloty a jejich využití pro získávání geotermální energie**
Energy Piles and Their Utilization for the Geothermal Energy Extraction

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Charakteristika energetické piloty, dimenzování, způsob realizace
3. Možnosti využití energetických pilot
4. Příklady aplikací energetických pilot v ČR a zahraničí
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hulla, J., Turček, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2.
2. Trs, M. Využívání stavebních konstrukcí budov pro ukládání energie. In: *TZB info*. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4977-vyuzivani-stavebnich-konstrukci-budov-pro-ukladani-energie>.
3. *Energetické piloty*. Dostupné z: <http://www.geotra.cz/problematiky/energeticke-piloty>.
4. *Energetické základy budov*. Dostupné z: <http://www.gerotop.cz/cs/sluzby/tepelna-cerpadla-primami-okruhy/energeticke-zaklady-budov>.
5. *UPONOR energetické piloty*. Dostupné z: <https://www.uponor.cz/reseni/energy-and-ground/energy-pile.aspx>.
6. Trs, M. Energetické piloty aplikované do praxe. In: *Magazín bydlení a stavebnictví*. [online]. Dostupné z: <http://www.4-construction.com/cz/clanek/energeticke-piloty-aplikovane-do-praxe>.
7. Energy geostructures and Thermal Piles. In: *Energy Geostructures, 2014*. Dostupné z: <http://lms.epfl.ch/research/research-fields/energy-geostructures-thermal-piles>.
8. Guney, O. Energy Piles: *Background and Geotechnical Engineering Concept*. Dostupné z: http://geosystems.ce.gatech.edu/abstracts/Sowers2013_Olgun.pdf.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

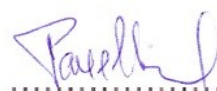


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 2. 5. 2016

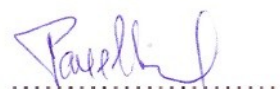

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- Byl (a) jsem seznámen (a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb.- autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 2. 5. 2016



podpis studenta

Anotace

PAVELKOVÁ, E. Energetické piloty a jejich využití pro získání geotermální energie: Bakalářská práce Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební. Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, 2016, 53 s, Vedoucí práce: HRUBEŠOVÁ, E.

Cílem mé práce je seznámení se s energetickými pilotami, doposud málo využívaným tepelným zdrojem v České republice a také využíváním geotermální energie, ta se jeví jako jedna z vhodných alternativ. Dále se má práce zabývat vysvětlením energetických pilot, funkci tepelných čerpadel na principu země – voda, technologie energopilot, možnosti využití a taky uvedení příkladů v ČR a zahraničí.

Klíčová slova

hlubinné základy, pilotové základy, energetické piloty, geotermální energie, obnovitelný zdroj energie, tepelné čerpadlo země – voda, primární okruh, thermal response test (TRT), dimenzování energetických pilot, vhněné piloty, vrtané piloty, tlaková sestava

Annotation

PAVELKOVÁ, E. Energy Piles and Their Utilization for the Geothermal Energy Extraction: Bachelor thesis Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering. Department of Geotechnical and Underground Engineering, 2016, 53 pages, Supervisor: HRUBEŠOVÁ, E.

The aim of this thesis is to introduce energy piles, so far the least used thermal source in the Czech Republic. It also discusses the use of geothermal energy which appears to be one of the suitable alternatives. Furthermore this thesis focuses on clarification of energy piles, the function of ground source heat pumps, the technology of energy piles and their possible use. This thesis also states examples from the Czech Republic and abroad.

Key words

Deep foundations, pile foundations, energy piles, geothermal energy, renewable energy resource, ground source heat pump, primary loop, thermal response test (TRT), magnitude of energy piles, blow piles , drilled piles, pressure set

Obsah

Seznam použitého značení	10
1. Úvod.....	12
2. Charakteristika energetických pilot, dimenzování, způsob realizace.....	13
2.1 Charakteristika energetických pilot.....	13
2.1.2 Konstrukce energetických pilot:.....	14
2.1.3 Způsob fungování systému.....	15
2.1.4 Meze použití	16
2.2 Dimenzování energetických pilot.....	17
2.2.1 Thermal Response Test (TRT).....	19
2.2.2 Podzemní energie a její teplotní rozdíly v základových konstrukcích	21
2.2.3 Princip tepelného čerpadla země-voda.....	22
2.2.4 Primární okruh – energopilota.....	23
2.2. Výhody a nevýhody energetických pilot.....	24
2.3 Způsob realizace.....	25
2.3.1 Aktivace základových pilot	26
2.3.1.1 Energetické piloty se zavrtanou dutou ocelovou výpažnicí	26
2.3.1.2 Vhánění prefabrikované energetické piloty	27
2.3.1.3 Monolitické energetické piloty s armovacím košem.....	29
2.3.1.4 Tlakovací sestava	30
2.3.2 Instalační varianty uložení sběrných potrubí.....	31
2.3.3 Zásady ukládání a montáž	33
3. Možnosti využití energetických pilot.....	37
4. Příklady aplikací energetických pilot v ČR a zahraničí.....	38
4.1 AZ Tower v Brně	38
4.1.1 Provedení energetických pilot	40
4.1.1.1 Energetické piloty oØ 600 mm a Ø 900 mm	40

4.1.1.3 Energetické piloty oØ 1200 mm	40
4.2 12 Lofts Bubeneč v Praze.....	43
4.3 Technopolis Innova 2 – Finsko	44
4.4 Hamk – Finsko	45
5. Závěr	47
Seznam použité literatury	49
Seznam tabulek	52
Seznam obrázků	53

Seznam použitého značení

km	kilometr je tisícínásobná hodnota základní jednotky délky (metr) v mezinárodní soustavě jednotek SI
kW	kilowatt
L	potrubní délka okruhu
m	metr je základní jednotka délky v mezinárodní soustavě jednotek SI
m²	metr na druhou je základní plošná jednotka v mezinárodní soustavě jednotek SI
mm	milimetr je jednotka délky odpovídající tisícíně metru
m/s	metr za sekundu
P_{el}	spotřeba elektrické energie
Q_C	kapacita budovy
q_E	odběrový výkon podloží
Q_H	topný výkon
Q_O	chladicí kapacita
Q_{WP}	celková kapacita
Q_{WW}	požadavek na ohřev teplé užitkové vody
R	poloměr piloty
R_C	koeficient přechodu tepla: přenosné médium/ potrubí
R_E	tepelný odpor energetické piloty
R_P	koeficient přechodu tepla: materiál piloty
R_S	koeficient přechodu tepla: potrubní okruhy
TRT	thermal response test
W	watt

Z	blokový čas
β	koeficient přenosu zatížení do paty piloty
°	úhlový stupeň je vyjádření úhlové míry rovinného úhlu
°C	stupeň Celsia
%	procenta
Ø	průměr je čára procházející středem kružnice (v tomto případě středem kruhového řezu piloty nebo armokoše) a protínající ji ve dvou bodech

1. Úvod

Již od 70. let minulého století byly zkoumány projekty s energetickými pilotami a následně i realizovány první z nich. Energetické piloty se využívají v moderním stavebnictví u staveb, kde jsou z důvodu nedostatečné únosnosti podloží pro základy použity základové piloty, a zároveň chceme využít tepelného potenciálu tělesa základového potrubí. Piloty se opatřují trubním vedením, které odebírají ze základů teplo v případě vytápění nebo odvádějí teplo v případě chlazení.[1] Vhodné podloží pro energetické piloty je nezpevněné podloží. Především zvodnělé podloží s písky, které vykazují nejlepší vydatnost a to hlavně díky pohybu spodní vody zde dochází k neustálé regeneraci.[3]

Geotermální energie je po sluneční energii druhým nejbohatším zdrojem tepla na Zemi. Je to přirozená tepelná energie, která je uchována v zemi. Tato energie je obsažená v 260 miliardách krychlových metrů hornin a kovových směsí, které se nacházejí těsně pod zemským povrchem ve stavu nebo blízko stavu tání. Geotermální energie Země neustále proudí směrem na povrch. Tento přenos tepla mezi jádrem a okolními vrstvami se uskutečňuje především prostřednictvím kondukce. Pokud se teplota a tlak systému dostatečně zvýší, některé horniny, které vytvářejí okolní vrstvy, se roztaví a vytvoří magma. Jelikož má tekutá magma nižší hustotu než okolní horniny, pomalu stoupá a přivádí teplo k zemské kůře.[2]

2. Charakteristika energetických pilot, dimenzování, způsob realizace

2.1 Charakteristika energetických pilot



Obrázek 1: Schematické znázornění energetických pilot[6]

Energetické piloty pracují na principu tepelná čerpadla země – voda a v současné době stále častěji používají jako zdroj energie pro rodinné domy nebo průmyslové objekty. Vedle již dobře známých systémů s využitím plošných kolektorů nebo geotermálních vrtů přibývá instalací, které pro získání nízkopotencionální energie z podloží využívají stavebních konstrukcí budov. Jedná se o aktivaci základů, pilot a základových stěn. Nejvíce se využívají energetické piloty, které jsou zároveň využity jako nosný prvek budovy. Energetické piloty mají dvě funkce. Hlavní funkcí energetických pilot je přenos zatížení a dále sekundární funkce je přenosové médium. Nosnost energetických pilot nesmí být postižena.[3]

Energetické piloty se označují jako geotermické absorbéry. Využívají se hlavně u budov, které jsou ze statických důvodů postavené na základových pilotech. Výztužné kostry energetických pilot jsou meandrovitě obloženy vodonosným potrubím z polyetylenu a slouží tedy jako geotermický absorbér pro zásobování teplem a chladem základů budov. [4]

Princip těchto zařízení, která lze využít k získávání energie pro vytápění/chlazení objektů, je založen na jednoduchém hospodaření s tepelnou energií. V topné sezóně tepelné

čerpadlo odebírá energii z piloty a tím ji ochlazuje, v letním období se naakumulovaný chlad využije ke klimatizování a naopak se do piloty ukládá teplo.[4]

2.1.2 Konstrukce energetických pilot:

Konstrukce energetické piloty je tvořena ocelovou armaturou a meziprostor je vyplněn betonem. Energie je z piloty odváděna pomocí potrubí, které je navinuto na armatuře piloty. Jako potrubní materiál se využívá vysokohustotní polyetylen se zvýšenou odolností dimenze 25x2,3 mm. V potrubí koluje nemrznoucí kapalina, která předává tepelnou energii přímo tepelnému čerpadlu. Celý systém je zapojen dle zásady hydrauliky a s co možná nejnížší tlakovou ztrátou, tedy i minimalizovaným nárokem na oběhové práce systému. [5]



Obrázek 2: Schéma energetických pilot pod objektem[5]



Pohled na armaturu energetické piloty, kde je již aplikováno potrubí. Při zavádění armatury je potrubí pod tlakem 10 bar. Po celou dobu betonáže se sleduje manometr v horní části piloty.

Obrázek 3: Konstrukce energetické piloty[5]



Obrázek 4: Konstrukce piloty na stavbě[7]

K dimenzování systému je nutné znát počet, průměr a délky jednotlivých navržených pilot v základech budovy, druh použitého betonu na vylití pilot, jakož i geologické poměry. Lze také využít stěn základů např. podzemní garáže, stěn tunelů metra a silničních tunelů. Dimenzování musí provádět specializovaná firma, která zná podmínky instalace. Špatný návrh může poškodit základy objektu. [5]

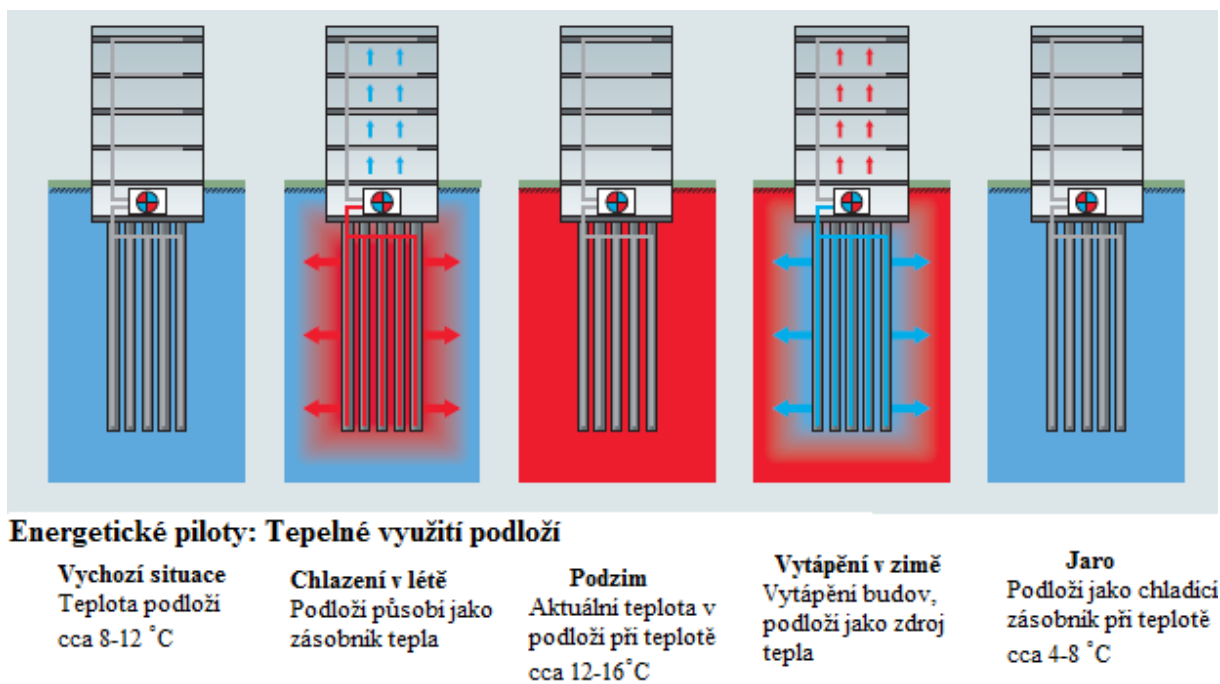


Obrázek 5: Konstrukce energetické piloty[32]

2.1.3 Způsob fungování systému

Energetické piloty sestávají z pilotového zakládání kombinovaného systému uzavřeného okruhu zemského zdroje s tepelným čerpadlem. Jejich úkolem je vytváření základu budovy, jakož i působení jako tepelný zdroj a tepelný zásobník.[6]

V praxi geotermální masa ze země umožňuje budově uchovávat nechtěné teplo z chladicího systému a v zimě umožňuje tepelným čerpadlům vytápět budovu jako je znázorněné na obrázku 6. Obecně tepelná čerpadla podzemního zdroje používané v domácích podmínkách získávají teplo ze země během několika hodin v roce prostřednictvím potrubí, které jsou uloženy horizontálně nebo vertikálně ve vrtu vyhloubeném v zemi. V geotermálních potrubích je okruh potrubí uložen vertikálně, aby mohly být součástí pilotového zakládání.[6]



Obrázek 6: Tepelné využití energetických pilot v ročním období[6]

2.1.4 Meze použití

Snížení nosnosti piloty (tvorba ledu, vložení potrubí tepelného výměníku) se musí v každém případě vyloučit teplotním ohraničením a statickými testy. Systémy energetických pilot jsou geotermální systémy integrovány pouze v hloubkových základech. V případě nezbytnosti, musí být maximální zátěže často pokryté doplňkovými zemními energetickými systémy. Energetické piloty se mohou monovalentně zajišťovat v jednoduchých rodinných domech s hloubkovými základy, ale toto použití je vzácné. [6]

Rozmístění a počet základových pilot jsou určeny statikou budovy. Rozmístění základových pilot podle energetických aspektů je často neekonomické (výjimkou jsou např. nízkonákladové prefabrikované beraněné piloty, které se částečně používají i jako „ztracené piloty“). Systém energetických pilot by se měl používat jako alternativní zdroj systematicky střídající ohřívací a ochlazovací provoz. Tak se dosahuje optimální specifické abstrakční kapacit i pro ohřev, vytápění, i pro ochlazování. Teplotní balanc systému energetických pilot se může navrhnout udržitelně stabilním způsobem. Vzájemný vliv sousedních energetických pilot se minimalizuje téměř stejnou tepelnou rovnováhou, která se udržuje během let. [6]

Základní zátěžový provoz se na základě zkušeností se středně velkými nebo velkými systémy energetických pilot jeví jako neekonomičtější. Proto se optimální poměr kapacity a

práce plánuje a definuje během dimenzování. Efektivitu systému energetických pilot ovlivňuje zejména vykonávaná práce vytápění a ochlazování.[6]

2.2 Dimenzování energetických pilot

Dimenzování energetických pilot závisí na ročního provozu systému tepelného čerpadla, návrhu betonových pilot, jakož i na vzájemném ovlivnění energetických pilot. Čím nižší je tepelný odpor RE energetické piloty, tím vyšší je přenos tepla geotermálním systémem. Tepelný odpor signalizuje ztrátu teploty při přechodu tepla z podloží do teplotonosného média (nemrznoucí směsi).[6]

Rozhodující kritéria pro tepelný odpor RE jsou:

- průměr vyhloubené piloty,
- tepelná vodivost materiálu piloty,
- typ energetické piloty. [6]

Menší průměr piloty snižuje tepelný odpor. Vyšší tepelná vodivost materiálu piloty snižuje tepelnou ztrátu během přenosu tepla nebo snížení tepelného odporu, proto se tepelný odpor energetické piloty **RE** skládá z předchozích odporů individuálních elementů a odporů specifického materiálu.[6]

Přechodné odpory:[6]

Podzemní půda →materiál piloty→potrubí→teplotonosné médium

Odpory materiálu:

$$R_E = R_C + R_R + R_P [W/(m^2K)]$$

R_C = koeficient přechodu tepla: přenosné médium/potrubí

R_S = koeficient přechodu tepla: potrubní okruhy

R_P = koeficient přechodu tepla: materiál piloty [6]

Požadovaná délka potrubního okruhu L je založena na specifickém odběrovém výkonu q_E (tab. 1) podloží a chladicí kapacity Q_O nemrznoucí kapaliny tepelného čerpadla na vodu. [6]

$$L = \frac{Q_0}{q_E} [m]^{[6]}$$

Tabulka 1: Specifický odběrový výkon na metr hloubky pilot[30]

Provozní hodiny Podloží	1800 h specifický odběrový výkon v W/m sondy	2400 h
Obecné orient. hodnoty:		
Špatné podloží (suchý sediment) ($\lambda < 1,5 \text{ W/mK}$)	25	20
Normální pevná hornina a vodou nasycený sediment ($\lambda < 3,0 \text{ W/mK}$)	60	50
Pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí ($\lambda < 3,0 \text{ W/mK}$)	84	70
Jednotlivé horniny:		
Štěrk, písek, suchý	< 25	< 20
Štěrk, písek, vodonosný	65–80	55–85
Při silném toku podzemní vody v štěrku a písku, pro jednotlivá zařízení	80–100	80–100
Hlína, jíl, vlhké	35–50	30–40
Vápenec (masiv)	55–70	45–60
Pískovec	65–80	55–65
Kyselé magmatity (např. žula)	65–85	55–70
Bázické magmatity (např. čedič)	40–65	35–55
Rula	70–85	60–70

Chladicí kapacita Q_0 odpovídá rozdílu topného výkonu Q_H a spotřeby elektrické energie P_{el} . [6]

$$Q_0 = Q_H - P_{el} [W]^{[6]}$$

Při dimenzování propojení energetických pilot musí být zajištěny nízkotlakové ztráty. Velmi důležitá je zvýšená viskozita nemrznoucí kapaliny ve srovnání s vodou jako médiem, protože kapacita čerpadla snižuje sezónní faktor výkonu β systému tepelného čerpadla. Maximální rychlost proudění by měla být 1 m/s. Rychlost proudění kapaliny v energetické pilotě by měla být proměnlivá, protože proměnlivé proudění zlepšuje přenos tepla z potrubí do nemrznoucí směsi, čímž se zvyšuje její teplota. [6]

V případě jednomocného dimenzování nemrznoucí směsi tepelného čerpadla se musí zdroje tepla dimenzovat tak, aby splnily kapacitní podmínku budovy Q_G a ne tepelného čerpadla. Celková podmínka kapacity Q_{WP} zahrnuje požadavek na kapacitu stavby Q_G a požadavek na ohřev teplé užitkové vody Q_{WW} beroucí v úvahu blokový čas Z . [6]

$$Q_{WP} = (Q_G + Q_{WW}) * Z [W]^{[6]}$$

Pokud se při výběru tepelného čerpadla použije model s nižší topnou kapacitou a kratšími potrubními okruhy, zvýší se provozní hodiny tepelného čerpadla. Znamená to, že energetická pilota je pod větší zátěží nebo to může vyústit do zvýšené hodnoty specifického ročního odběrového (abstraktního) faktoru. Nárůst provozních hodin se dá zkompenzovat, musí se však prodloužit potrubí okruh, což má za následek zvýšenou spotřebu energie. [6]

Na dimenzování energetických pilot je velmi důležité znát tepelné vlastnosti podloží. V podstatě je možné vypočítat tepelnou vodivost z nenarušených vzorků z vrtných jader zkušebního vrtání, ale je to velmi komplikovaná metoda, která je možná pouze v laboratoři. [6]

Dimenzování systému energetických pilot použití simulačních programů vyžaduje informace o efektivní tepelné kapacitě napříč celou délkou vrtu. Tyto informace se dají získat přímo na místě pomocí testu koeficientu výkonu (Thermal Response Test – TRT). [6]

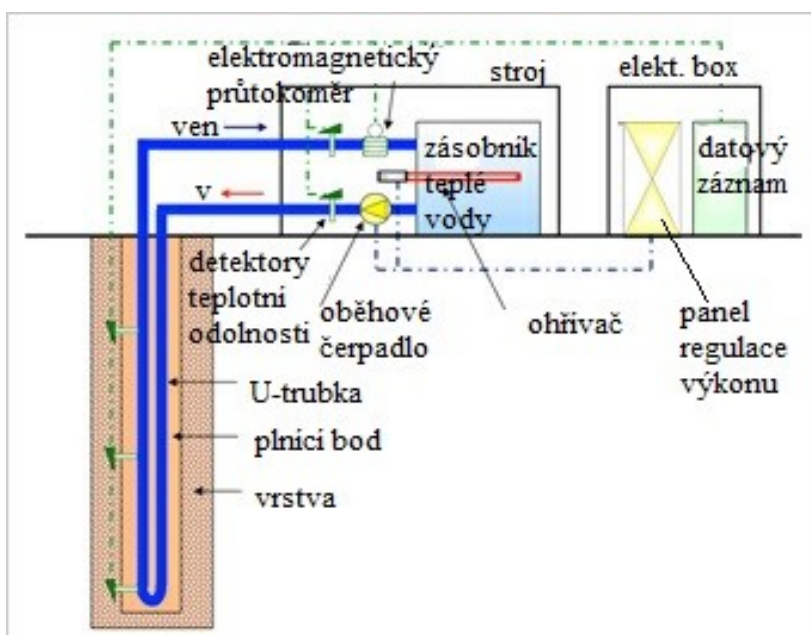
2.2.1 Thermal Response Test (TRT)

„Provádí se zkušební vrt pomocí Thermal Response testneboli tzv. test teplotní odezvy vrtu. Používá se pro správné určení tepelné vodivosti horniny (podloží) a zároveň je jeho základním parametrem. Znát dobře tepelnou vodivost horniny je klíčovým parametrem pro správné určení počtu a délky vrtů pro tepelné čerpadlo. Jedná se o speciální polní zkoušku, při níž po dobu zhruba 3 dnů vrtem cirkuluje teplá voda, z vývoje teplot se poté počítá tepelná vodivost hornin v daném konkrétním místě. Dalšími sledovanými parametry jsou tepelný odpor vrtu a neovlivněná teplota horniny.“ [8]

„Tepelná vodivost hornin udává, jak dobře na daném místě vedou horniny teplo vrtu. Čím vyšší je tepelná vodivost horniny, tím lépe. Vrt pro tepelné čerpadlo bude mít zajištěn lepší přenos tepla. Tepelnou vodivost horniny ovlivňuje mnoho faktorů, které se mohou lišit místem, kde daný vrt probíhal. V naší zemi, která je i z celosvětového hlediska geologicky mimořádně pestrá, je kolísání hodnoty tepelné vodivosti i na poměrně krátkých vzdálenostech

obvyklým jevem.“[8]Nejlepší prostředí pro přenos tepla/chladu je nezpevněné podloží. Mezi ně patří hlavně zvodnělé podloží s písiky, kde dochází k neustálé regeneraci díky pohybu spodní vody.[3]

„Přínosem TRT je fakt, že změří přímo tepelnou vodivost v daném místě se zahrnutím všech vlivů, které se na lokalitě vyskytují a které nikdy nelze např. z map určit zcela přesně. Výsledkem testu pak může být zkrácení celkové délky vrtů ve vrtném poli.“[9]



Obrázek 7: Thermal Response Test[10]

Test je vhodný pro instalace tepelného čerpadla s větším výkonem, resp. s vyšším počtem vrtů. Z ekonomického pohledu se nevyplatí jej provádět u instalací pro běžné rodinné domy. U větších instalací je však pro správné určení celkového počtu a délky vrtů znalost tepelné vodivosti hornin nezbytná nejen z technického, ale i ekonomického hlediska.[9]

„Pro provádění testu používáme zařízení s dálkovým ovládáním a přenosem dat. Tepelné parametry horniny prostřednictvím TRT jsme schopni změřit kdekoliv, včetně lokalit teprve uvažovaných k zástavbě bez přivedených inženýrských sítí.“ [9]



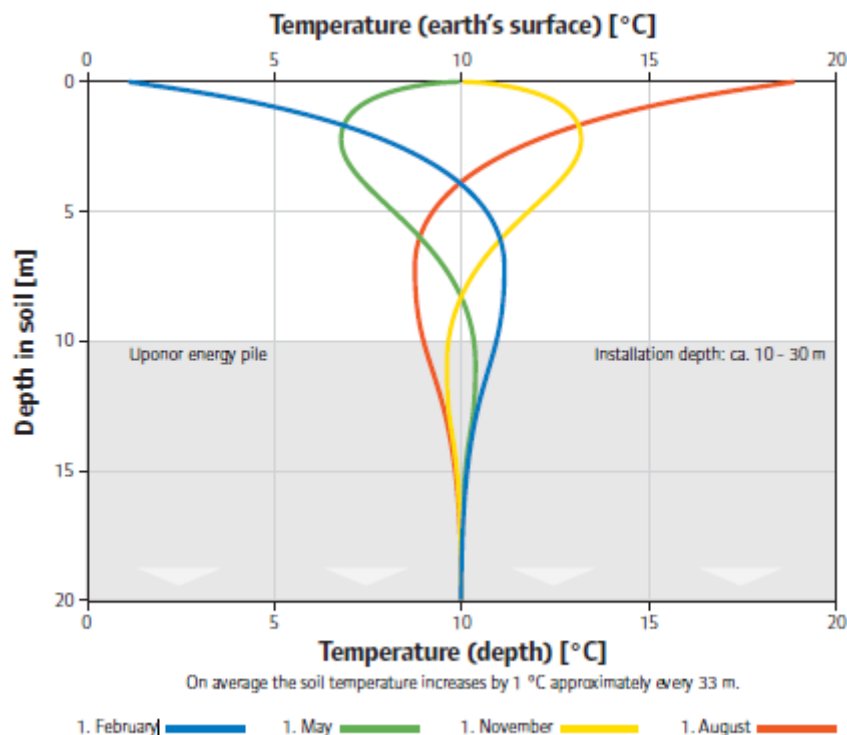
Obrázek 8: Přístroj - měření teplotní odezvy[9]

2.2.2 Podzemní energie a její teplotní rozdíly v základových konstrukcích

V základových konstrukcích uvažujeme jako zdroj energie tzv. *nízkopotenciální teplo*. Toto teplo je uloženo v malých hloubkách cca do 200 m pod povrchem, kde je teplota horniny dána jejími teplotními charakteristikami a nepřesahuje 30 °C.[6]

Teplota na zemském povrchu je ovlivněna především slunečním zářením a srážkami. Jdeme-li však hlouběji pod povrch, ztrácí toto ovlivnění na významu. Na obr. 10 jsou znázorněny teploty půdy v různých měsících do hloubky 20 m. Z obrázku jde vidět, že od hloubky 18 m se teplota celoročně pohybuje okolo 10 °C, přestože teplota na každých dalších 100 m hloubky stoupá o 2-3 °C. Z hlavních výhod geotermální energie se srovnáním s jinými obnovitelnými zdroji je, že není závislá na dni, měsíci, ročním období a také na klimatických podmínkách. [6]

Celý systém podzemní energie se skládá ze 3 hlavních částí, a to z *primárního okruhu* (energopiloty, energetické stěny), *tepelného čerpadlo země-voda* a *sekundárního okruhu*, jenž je tvořen vlastní topnou/chladicí soustavou uvnitř objektu.[6]



Obrázek 9: Teploty hornina v závislosti na hloubce a ročním období[6]

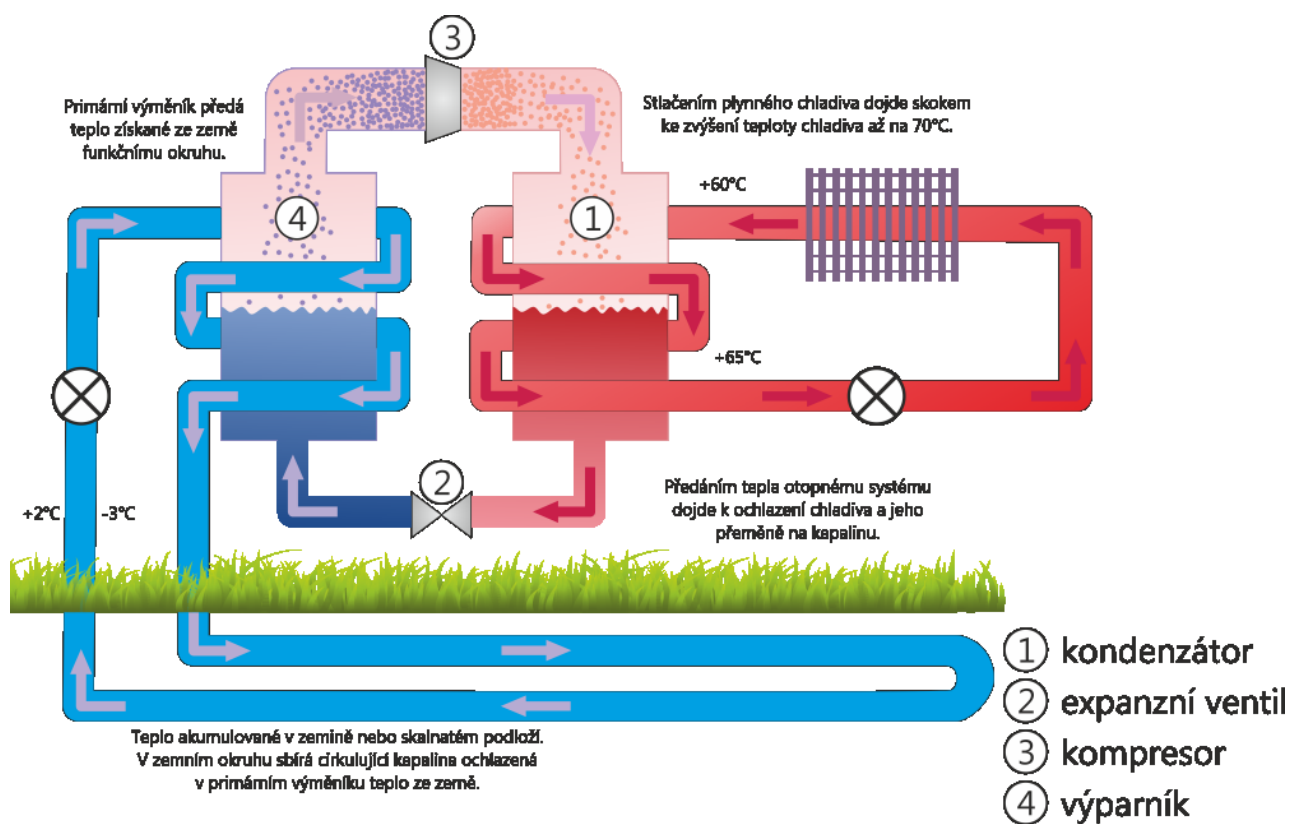
2.2.3 Princip tepelného čerpadla země-voda

„Tepelné čerpadlo země-voda s vertikálním vrtem se používá pro získávání energie uložené v horninách a podzemních vodách. Teplo je získáváno z vrtů z hloubky 80 až 150 m. V této hloubce je celoroční teplota mezi +7 až +12°C. Dále záleží na složení horniny a vydatnosti podzemní vody. Tato teplota je pak provozem „odčerpána“ a snížena.“ [11]

Čerpadlo pracuje v uzavřeném chladicím okruhu se čtyřmi základními komponenty – kompresorem, expanzní tryskou, dvěma výměníky - kondenzátor a výparník. Pracuje na principu obráceného Carnotova cyklu (cyklus pracuje v režimu vytápění/ohřívání). [12]

„Teplo je odebíráno z půdy kapalinou proudící soustavou trubek uložených v zemi (zemní kolektor nebo vrt). Ohřátá kapalina proudí dále vodním čerpadlem do primárního výměníku, kde je teplo předáno chladivu funkčního okruhu tepelného čerpadla. Zde je chladicí médium ohřáto teplotou zeminy, která je i v zimě vyšší než teplota chladicího média výparníku. Dojde k jeho přeměně skupenství na páru. Ohřáté chladivo proudí do kompresoru, kde je stlačeno a v důsledku toho dojde k nárůstu jeho teploty. Ohřáté chladivo ve vnitřním

sekundárním výměníku předá teplo teplovodnímu otopnému systému, který jej pomocí rozvodů topení rozvede po objektu. Předáním tepla dojde k ochlazení chladiva a toto se změní na kapalinu. Ochlazené médium prochází expanzním ventilem, v němž dojde ke snížení tlaku. V důsledku expanze chladicího média dojde k poklesu jeho tepelné energie a tekuté chladivo je opět vyvedeno do primárního výměníku s výparníkem k dalšímu ohřevu. Popsaný cyklus se stále opakuje.“ Znázorněno na obrázku 10. „Opakovaným ohřevem kapaliny v půdním kolektoru nebo vrtu systém tepelného čerpadla sbírá tepelné přírůstky, které postupně předává do otopného systému vytápěného objektu. Předané tepelné přírůstky postupně zahřívají vodu v otopném systému na teplotu potřebnou k vytápění objektu.“ [12]

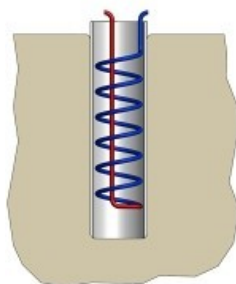


Obrázek 10: Princip tepelného čerpadla země-voda[13]

2.2.4 Primární okruh – energopilota

Od klasické konstrukce piloty, která plní pouze statickou funkci, je energopilota kromě armokoše a betonu vystrojena speciálním potrubím, ve kterém proudí kapalina plnící funkci teponosného média. Jedná se o zařízení, jenž má v sobě integrovány trubky výměníku tepla a je celé fixováno v podloží. Princip jejich činnosti je založen na prostém hospodaření s tepelnou energií. V zimě, kdy je potřeba objekt vytápat slouží piloty jako zdroj energie pro

tepelné čerpadlo. Naopak v létě, kdy je přebytek tepla, je toto z objektů díky reversibilnímu tepelnému čerpadlu předáváno do podloží a tím objekt ochlazuje.[14]



Obrázek 11: Energopilota [14]

2.2. Výhody a nevýhody energetických pilot

Výhody:

- použitelné u všech hlubokých základů,
- vhodné pro běžné zatížení,
- úspora až 70% nákladů spojených s vytápěním, klimatizováním a ohřevem užitkové vody,
- spolehlivý a snadno udržovatelný systém s dlouhou životností,
- prakticky bez emisí a odpadu,
- nízká hlučnost systému,
- nízké dodatečné investice v případě plánovaných základových pilot,
- ideální řešení pro rezidenční a nerezidenční budovy.

Nevýhody:

- vyšší počáteční náklady,
- při návrhu nutno zvážit teplotní ovlivnění podzákladí a také vliv přídavných napětí, vznikajících uvnitř piloty v důsledku změn teploty,
- při dimenzování a následné realizaci nutná kooperace specialistů z různých oborů,
- v České republice prozatím nedostatečná projekční a dodavatelská zkušenost.

2.3 Způsob realizace

Způsob realizace základových pilot rozlišujeme podle typu montáže a instalace.

Typy montáží:

- **Prefabrikované piloty** se kompletně nebo po částech vyhotoví v požadovaném tvaru a délce ještě před instalací do země.[6]
- **Monolitické piloty** se zhotovují přímo na staveništi do země - vyplňování požadovaných rozměrů dutin betonem. [6]

Typy instalací:

- **Vháněné piloty** vyznačují se tím, že se pilotové prefabrikáty do země vhánějí a to beraněním, vibrací, vplachováním nebo zatlačením pod stabilním tlakem.[15]
- **Vrtané piloty** se po vyvrtání požadovaného otvoru různými metodami zabetonují. Mezi nejznámější metody patří: technologie CFA (countinuous flight auger), technologie VUIS (výzkumného ústavu inženýrských staveb), metoda KELLY, metoda SOB, metoda DKS, metoda VDW.[17]
- **Roztlačené piloty** jsou známe tím, že se monolitické piloty zhotovují rozmačkáváním do zeminy s kontinuálním vrtáním do stran s minimální vniknutím zeminy do vrtu. Mezi nejznámější technologie patří: FUNDEX, Tubex, ATLAS, OMEGA, Screws.[17]
- **Předrážené piloty** se zhotovují předrážením vrtu do stran za pomoci výpažnice, která je na spodním konci uzavřena betonovou zátkou nebo ocelovým hrotem. Mezi nejznámější technologie patří: FRANKI a nebo upravený systém VUIS na předrážení.[16]



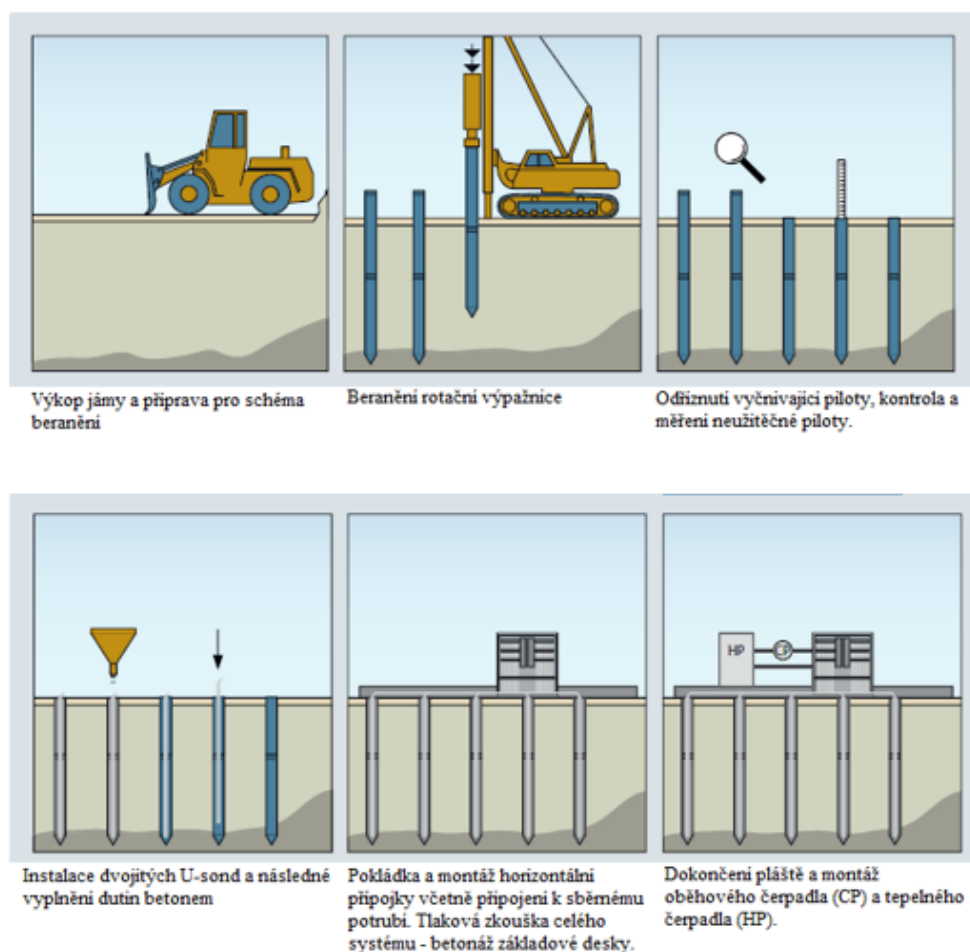
Obrázek 12: Sestava vrtaných pilot a prefabrikovaný beton vrtaných pilot [6]

2.3.1 Aktivace základových pilot

První funkcí energetických pilot je přenos zátěže do země, zatímco druhou funkcí je její použití jako přenosového média energie ze země. Použití základové piloty nesmí ovlivnit její nosnou kapacitu, proto je třeba při aktivaci základových pilot dbát na správný návrh, montáž a spuštění celého systému do provozu. [6]

2.3.1.1 Energetické piloty se zavrtanou dutou ocelovou výpažnicí

Zhotovují se na základě zavrtávání duté ocelové výpažnice s upravenou vrtnou patou (obr. 13), kde se zavrtá do země následně vloží sběrné (energetické) potrubí. Výhodou je, že se může riziko poškození potrubí zkontrolovat předchozí inspekci dutiny potrubí. Do dutiny se vloží dva potrubní okruhy a naplní se určený zásypovým materiálem. [6]



Obrázek 13: Instalace energetických pilot se zavrtanou výpažnicí[6]

V případě potřeby malých poloměrů při ohýbání se doporučují použít svařované U oblouky nebo i vrtané kolektory, které mohou být uloženy přímo. Během zasypávání je třeba zajistit, aby měl zásypový materiál vysokou tepelnou vodivost, dobrý kontakt s materiálem při různých podmínkách prostředí a měl by být zasypán bez vytváření pórů. Zásobovací přítok a vratný tok v pilotě s příslušnou energií může být spojen pomocí Y nebo T kusů anebo zkombinovaný do skupin jiných pilot. [6]

Po ukončení betonování pilot proběhne montáž horizontálních přípojek včetně připojení k různým rozvodným potrubím. Následně je třeba provést tlakovou zkoušku celého systému. Až po této zkoušce můžeme začít s betonáží základové desky.[6]

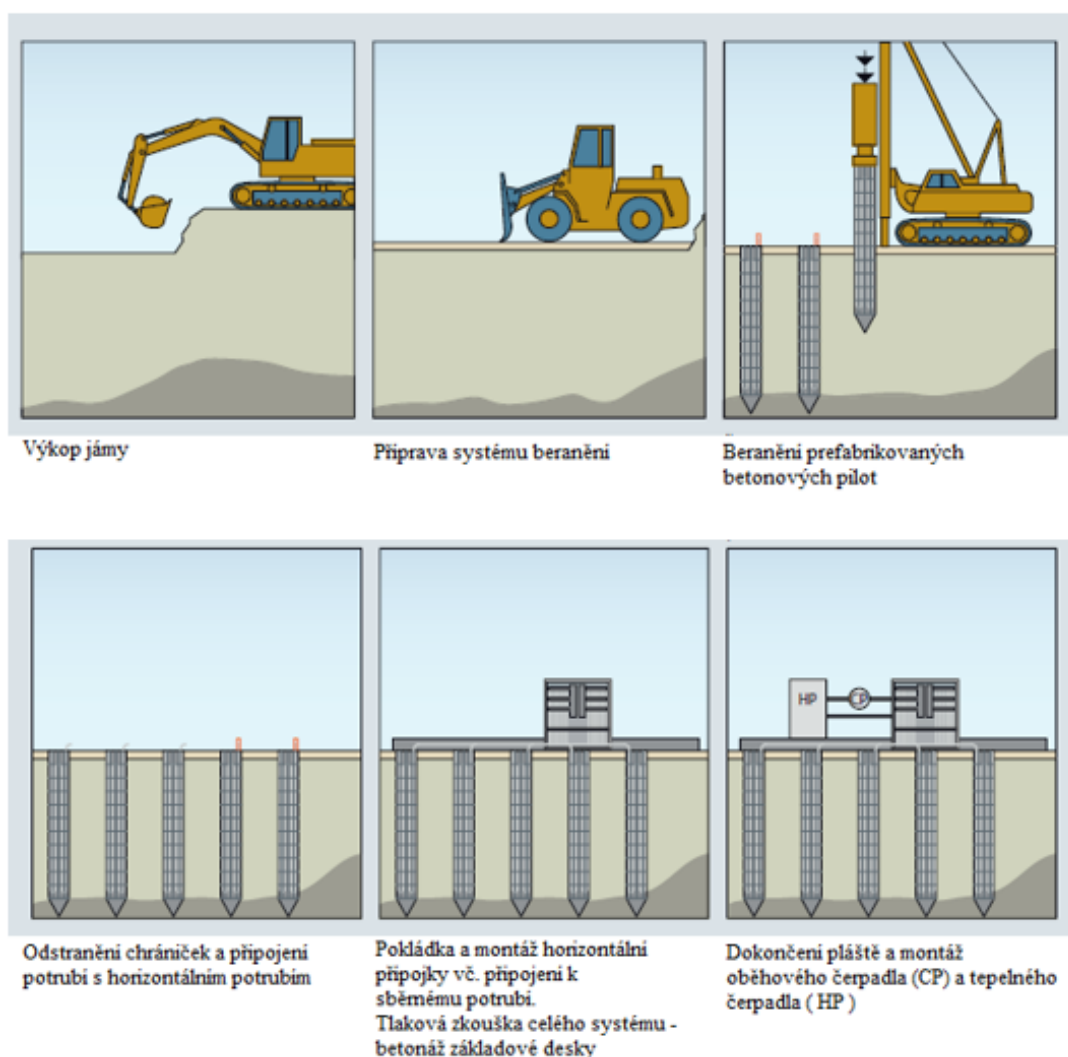
2.3.1.2 Vhánění prefabrikované energetické piloty

Prefabrikované vháněné betonové piloty (obr. 14) jsou již od výroby vybaveny příslušnými sběrnými (energetickými) potrubími. Ve výrobě se sběrné potrubí upevní na

vnitřní stranu armokoše a následně se vybetonuje pilota. Počet potrubních okruhů se přizpůsobuje formě piloty a jejímu průměru. [6]

Konce potrubí se opatří chráničkou a vyvedou z piloty, tak aby po instalaci vyčnívaly. Během instalace by se měl určit směr konců vyčnívajícího potrubí, aby se rozvodné potrubí mohlo schematicky propojit. [6]

V závislosti na podloží se může stát, že není možné dosáhnout původní plánované hloubky a pilota se musí zkrátit. Při aktivaci s potrubními okruhy může při odstraňování přebytečného betonu vzniknout riziko poškození potrubí tepelného výměníku. Výhodou použití prefabrikovaných betonových pilot je, že montáž a tlakové zkoušky jsou prováděny ve výrobě, a proto je poškození potrubí tepelného výměníku vyloučeno. [6]



Obrázek 14: Instalace energetických pilot metodou vhánění prefabrikovaných energetických pilot[6]

2.3.1.3 Monolitické energetické piloty s armovacím košem

Monolitické energetické piloty s výztuží se zhotovují a aktivují přímo na místě výstavby. Armovací koš se vyhotoví se sběrnými potrubními před vložením do připravených vrtů (obr. 15).



Obrázek 15: Montáž sběrného potrubí na armovací koš[6]

Postup montáže:

1 – vkládání polyetylenového potrubí, 2 – připevnění potrubních okruhů, 3 – seřezávání přebytečné délky potrubních okruhů, 4 - uložení potrubí v podélném meandrovitém tvaru, 5 – vložení T-kusu na připojení k zásobovacímu přítoku a vratnému přítoku, 6 – kontrola zkušebního tlaku 6 barů, 7 – skladování označených a aktivovaných armovacích košů s chráničkou na místě hlavy výztuže. [6]

Sběrné potrubí se obvykle namontuje na vnitřní stranu armovacího koše, aby nedošlo k poškození potrubí při vkládání armokoše do vrtu. Sběrné potrubí jsou při tom upevněné podle různých instalačních variant. Následně po vložení aktivovaného armokoše do vrtu se

nastaví zkušební tlak s manometrem na 6 barů a zapíše se do protokolu. Vybetonuje se pilota a znovu se vyhotoví tlaková zkouška. Energetické piloty můžeme připojit na rozvodné potrubí nebo přímo na rozdělovač a sběrač topného, případně chladicí okruhu.[6]

2.3.1.4 Tlakovací sestava

Po navinutí potrubí do jednotlivých armovacích košů před zavedením do vyvrtaného prostorupiloty je nutné provést tlakovou zkoušku. K tomu slouží tzv. tlakovací sestava, jež zůstane aplikovaná i při zavádění armovacího koše do vrtu a následné betonáži. Během těchto procesů nesmí klesnout tlak! **Zkušební tlak je 6 bar.** O provedení tlakových zkoušek musí být sepsány protokoly o průběhu tlakové zkoušky. Bez těchto zkoušek není možné uvést piloty do provozu.[23]

Pro celkové zalití armovacího koše v pilotové jámě je nutné do armovacího koše umístit násypku pro cestu betonu do potřebných míst v pilotě. Pokud by i tento prostor nebyl dostatečný, je možné ještě vyjmout chráničku tlakovací sestavy, a tím vytvořit další prostor pro násypku. V tomto případě je nutné dbát zvýšené opatrnosti při betonáži, aby nedošlo k poškození tlakovací sestavy a tím byla znemožněna možnost provést tlakovou zkoušku.[23]



Obrázek 16: Tlaková zkouška[23]

2.3.2 Instalační varianty uložení sběrných potrubí

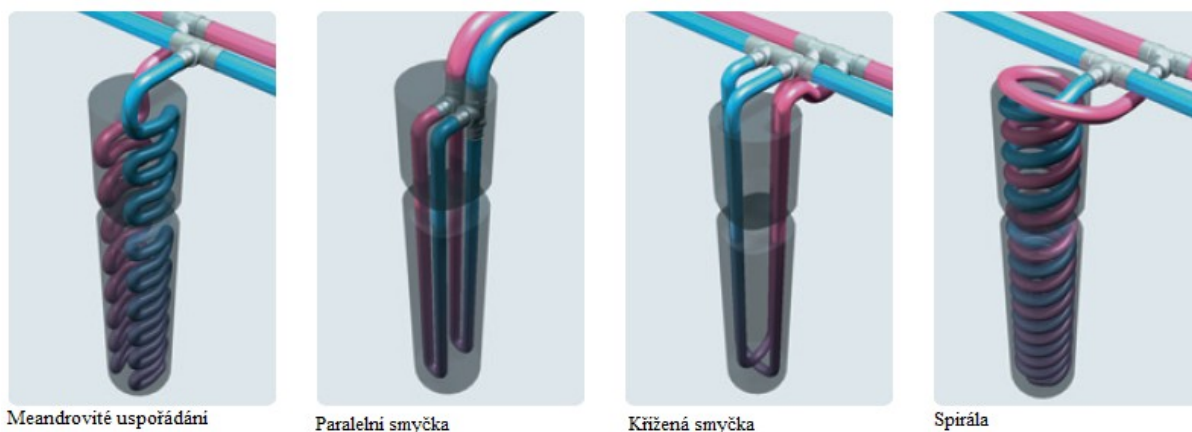
Sběrné potrubí, které se upevní na armovací koš piloty, je možné navrhnout v různých tvarech. Potrubí má nejběžnější rozměry 20x2.0 mm nebo 25x2.3 mm. Průměr základových pilot se může lišit podle typu budovy, stejně jak počet potrubních okruhů v jednotlivých pilotách. Instalace má různé varianty, například meandrovité uspořádání, paralelní smyčky, křížené smyčky, spirály (obr. 17). Výběr správné varianty je individuální záležitostí od průměru a délky piloty, složitosti montáže, aktivního povrchu potrubí a šetření na základech za použité potrubí a nemrznoucí směs.[6]

- **Meandrovité uspořádání**

Potrubí je namontováno po výšce armokoše s oblouky u paty a hlavy piloty. Tato varianta se používá často, hlavně u pilot s menším průměrem. [6]

- **Jednotlivé smyčky**

Jedná se o rozdělení každé smyčky v pilotě zvlášť. Největší výhodou této pokládky jsou nízké tlakové ztráty. Nevýhodou pak vysoké náklady a nemožná kontrola průtoků.[6]



Obrázek 17: Instalační varianty[6]

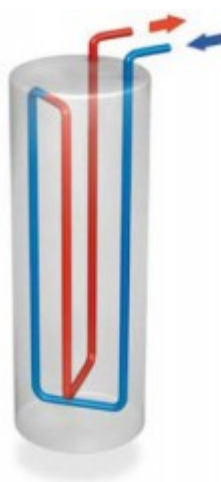
- **Spirála**

Jeden z nejvýhodnějších způsobů pokládky. Potrubí se namotává po vnitřním obvodu armokoše v jednotném stoupaní. Na konci armokoše se potrubí ohne přes elektrokoleno se

vrací směrem k hlavě piloty. Výhodou tohoto způsobu je odebírání tepla z větší plochy, doba instalace, funkčnost a cena. Jedinou nevýhodou je, že tento způsob může být použit pouze pro větší dimenze pilot. [6]

- **U-sonda**

Novým způsobem jsou tzv. zarážecí piloty, které jsou následně vystrojeny zkrácenou zemní sondou. Litinová trubka je zarážena až do dostupné hloubky a následně je do ní zapařena jedna polovina geotermální zemní sondy 4x32x2,9 mm z materiálu PE100RC, která se poté zainjektuje. Tento způsob je finančně i časově nenáročný a přesto efektivní.[6]



Obrázek 18: U – sonda [30]

Prívodní a vratné potrubí by se mělo v hlavici piloty scházet ve sběrači ve tvaru písmene Y nebo T a propojovat s ostatními pilotami ve skupině. Je nutné izolovat alespoň vratné potrubí, aby nedocházelo ke ztrátám kumulované energie z pilot. Jednotlivé sekce potrubí jsou propojeny v rozvodové jednotce umístěné vně v komoře nebo uvnitř v budově. Instalace uvnitř vyžaduje izolace sběrače kvůli kondenzaci.[31]

Délka a průměr energetických pilot závisí na požadovaném statickém zatížení, které je třeba pokrýt. Tyto údaje poskytne statik. Komplexnost stavby energetických pilot vyžaduje i účast projektanta a specialisty na geotermální energii. Ověřené plány vyžadují detailní simulaci dlouhodobého chování země před stavbou a po stavbě, účinek interakce pilot a testování tepelné reakce. [31]

Zejména při pilotách s malým průměrem se musí brát v úvahu i poloměry ohybu potrubí. Pro potrubí PE-Xa jsou stanoveny maximální poloměry podle venkovní teploty při

instalaci v tabulce 2. V případě malých poloměrů ohybu se doporučuje použít podpěry na ohyb potrubí nebo elektrotavením (elektrotvarovky) U-oblouky.[6]

Tabulka 2: Maximální poloměry ohybu potrubí PE-Xa podle venkovní teploty[30]

	20 x 1,9	25 x 2,3	32 x 2,9	40 x 3,7
20 °C	20 cm	25 cm	30 cm	40 cm
10 °C	30 cm	40 cm	50 cm	65 cm
0 °C	40 cm	50 cm	65 cm	80 cm

Množství potrubních okruhů záleží na průměru vyztužené klece. Referenční hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Referenční hodnoty pro určení počtu potrubí podle průměru piloty[6]

Průměr piloty	Počet vertikálních potrubí
20 - 70 cm	4-6 U-obluku nebo elektrotavením U-obloukem ve spodní části
75 - 85 cm	4-6 s Omega-oblouku ve spodní části
90 - 120 cm	6 - 8
130 - 180 cm	8 - 12

Přívodní a vratné toky energetické piloty mohou být připojeny přímo k rozdělovači/sběrači, spojené přes hlavu potrubí (sběrače), přes Y-kus nebo T-kus anebo kombinované s ostatními piloty ve skupině. V případě různých stavebních stadií by se měly konce potrubí na hlavě piloty zajistit ochrannými potrubími nebo potrubní izolací přinejmenším po délce betonu. Izolace, případně plastová chránička, se odstraní hned potom, jakmile bude osazena pilota. Všechny konce potrubí musí být utěsněny, aby se zabránilo vniknutí nečistoty. [6]

2.3.3 Zásady ukládání a montáž

Systémy energetických pilot by se měly vždy využívat jako alternativní topné a chladicí výměníky. Vzhledem na stavbou přetížený povrch, přírodní zdroj tepla nepostačuje, a tak by se několika ročním používáním systému snížila teplotní hladina v příslušné půdě a klesla by pod hladinu použití. Během topného provozu by měla být teplotní hladina nejnižší

(méně než 35°C) a během chlazení nejvyšší (více než 16°C). Všechny energetické piloty včetně přípojek by měly mít stejnou délku a měly by být připojeny k tepelnému čerpadlu podle Tichelmannova principu přes potrubí přívodního a vratného toku se sběrnými trubkami. Při pokládání potrubí podle Tichelmannova principu se požadovaná délka energetické piloty rozdělí na energetické piloty spojované paralelně kvůli příslušné abstrakční kapacitě, proto se s ohledem na tlakovou ztrátu musí brát v úvahu objem toku v jednotlivých energetických pilotách, délky a průměry potrubí. [6]

Pokud není možná instalace energetických pilot včetně přípojek stejné délky, musí se použít hydraulická kompenzace, a to použitím vyrovnávacích ventilů, které udržují stejnou tlakovou ztrátu v každém potrubním okruhu.[6]

Přívodní a vratné toky energetické piloty se mohou spojit pomocí potrubní hlavy piloty, Y-kusu nebo T-kusu v kombinaci s jinými pilotami ve skupině. Upevnění připojovacích potrubí (obr. 19) je možné pomocí háků nebo montáží potrubí na zpevněné pletivo (kari síť). Připojení k horizontální přípojce (obr. 19) je na hlavě piloty. Konce potrubí se vyvedou ven přes hlavu, aby přípojky nemusely být vedené kolem piloty. S 90° instalací potrubí (potrubními armaturami) se vertikálně potrubí vyhloubené piloty spojí s horizontálními potrubními tak, aby z této části neunikal žádný vzduch. [6]



Obrázek 19:Připojení potrubí k horizontální přípojce a napojení na kari síť[6]

Přípojky by měly vést s minimálním sklonem k potrubí z důvodu odvzdušňování. Nejlépe se to provádí vodorovně ve šterkové nebo na pískové vrstvě, pod základovou deskou nebo v zemi až k příslušnému potrubí (s PE-Xa potrubími se nevyžaduje žádný písek, protože při tomto potrubí rozšiřování trhlin a zářezů). Je třeba zajistit spojení tak daleko od sebe, aby nevznikla tepelná zkratka mezi sběrným a vratným tokem. V ideálním případě by měly být spojky vratného toku navrhovat jako izolovaná potrubní varianta (obr. 20). [6]



Obrázek 20: Izolovaná potrubí varianta pro spojky vratného toku [6]

Přípojky mohou být k příslušnému potrubí vedené buď jednotlivě (paralelně) nebo ve svazku (sériově). **Výhodou připojování každé piloty k příslušnému potrubí jednotlivě je, že při případné chybě piloty se ztrácí pouze kapacita této jedné piloty.**[6]

Všechny potrubí a armatury by měly být instalovány v dostupné a proti dešti chráněné komoře mimo budovy. Všechny energetické piloty by měly být vybaveny kulovými ventily v potrubích, aby se daly zavřít. Spojky se připojují k potrubí způsobem volného napětí. [6]

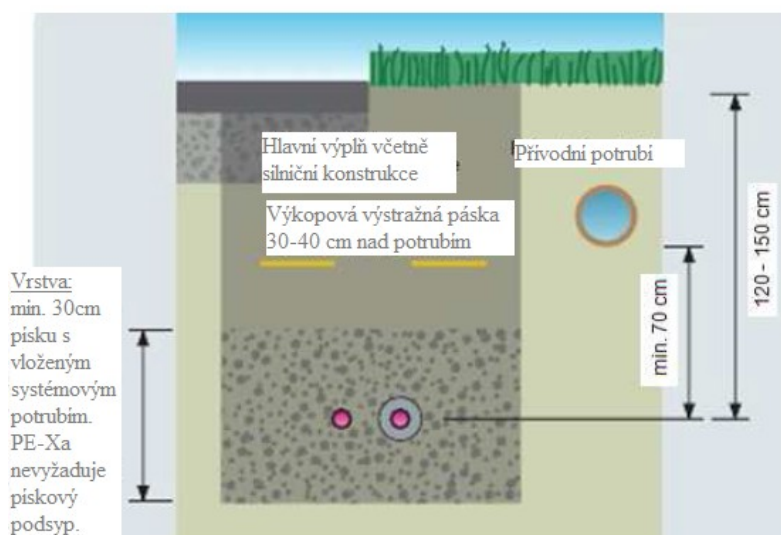
V úvahu je třeba brát i vzájemné působení (vzájemná interference) energetických pilot. Obvykle není možné definovat kvantitu a rozložení energetických pilot podle energetických aspektů, ale definuje se to podle statických podmínek budovy. Je možné způsobit efekt tzv. ztracených pilot, který vznikne, pokud nejsou tyto piloty aktivovány nebo jsou dodatečně montované jako energetické piloty bez statických požadavků. [6]

Připojení potrubí, které nejsou na staveništi a nejsou k dispozici, by se mělo udělat pomocí techniky **bez-údržbového propojení** s armaturami elektrotvarovek, případně alternativním způsobem jako např. Uponor Quick & Easy. Podle DIN 4140-2 všechny přípojky vedoucí u stěn jakož i **všechna potrubí** s nemrznoucí směsí **instalované v domě musí být izolovány** (izolací instalované proti šíření vodní páry), aby se zabránilo kondenzaci vody. [6]

Kvůli zabránění zamrznutí tepelného výměníku, potrubí nebo přípojek a odpařovače se systém tepelného čerpadla naplňuje nemrznoucí směsí – většinou je to směs vody a glykolu (teplonosné médium). Kvůli statickým aspektům musí být v úvahu brány teplotní limity (min. $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ / max. $25 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Teplonosné médium pro potrubí tepelného výměníku a pro přípojky se musí vždy vybírat tak, aby se v případě úniku vyhnulo kontaminaci podzemní

vody a půdy, nebo aby se tato kontaminace co nejvíce snížila. Měly by se vybrat netoxické nebo bio rozložitelné látky podle VDI 4640.[6]

Je třeba dbát na to, aby bylo možné plnění a vyprazdňování systému. Systém tepelného čerpadla musí být vybaven bezpečnostním ventilem, aby se zabránilo přeplnění. Nemrznoucí směs a voda musí být před naplněním do energetické piloty smíchány v dostatečně velké nádobě. Procento glykolu je obvykle mezi 25-30%. Proto jsou tlakové ztráty ve sběrných potrubích o 1,5 až 1,7-krát vyšší ve srovnání, pokud jsou naplněné pouze čistou vodou. Toto musí být vzato v úvahu při navrhování tepelného čerpadla. Zkouška tlaku se musí provést podle EN 805. Podle typu použitého potrubí se přípojky ukládají do pískové vrstvy. Pouze při použití potrubí PE-Xa není ukládání do pískové vrstvy nezbytné díky jejich odolnosti vůči růstu trhlin (obr. 21). [6]



Obrázek 21: Způsob uložení přípojovacího potrubí (bez izolace/ s izolací)[6]

PE-Xa rozměr potrubí [mm]	Vnitřní průměr [mm]	Objem vody [l/m]
20 x 2.0	16.0	0.201
25 x 2.3	20.4	0.327
32 x 2.9	26.2	0.539
40 x 3.7	32.6	0.835
50 x 4.6	40.8	1.307
63 x 5.8	51.4	2.075
75 x 6.8	61.4	2.961
90 x 8.2	73.6	4.254
110 x 10.0	90.0	6.362
125 x 11.4	102.2	8.203

Obrázek 22: Objem vody na rozměru potrubí[6]

3. Možnosti využití energetických pilot

Energetické piloty můžeme využít především u staveb, které se nacházejí v místech s **nezpevněným podložím**. Je zapotřebí „ukotvení“ budovy pomocí pilot. Využití těchto stavebních prvků patří k nejeefektivnějším a z hlediska investice i k nejvýhodnějším způsobům získávání geotermální energie. Vzhledem k tomu, že pod budovou nedochází k regeneraci podloží slunečním zářením, jako tomu je u plošných kolektorů, jsou piloty často využívány jako akumulátory tepla a chladu. V topné sezóně tepelné čerpadlo odebírá energii z piloty a tím ji ochlazuje, v letním období se naakumulovaný chlad využije ke klimatizování a naopak se do pilot ukládá teplo. Nashromážděný chlad lze využít i bez použití tepelného čerpadla, respektive jeho kompresoru. Oběhové čerpadlo vhání chlad z pilot přímo do vzduchotechniky nebo stropních či stěnových panelů. Takovýto způsob chlazení se nazývá „free cooling“ neboli pasivní chlazení. Pokud se chladicí potenciál vyčerpá ještě v průběhu letního období nebo je jeho spotřeba tak vysoká, že musí pracovat kompresor tepelného čerpadla, dochází k tzv. „aktive cooling“ neboli aktivnímu chlazení, jehož výkon je vyšší.[3]

„Ziskovost pilot je ovlivněna několika faktory. Především druhem podloží, ve kterém se piloty nacházejí. Zde platí, že **ideální je zvodnělé podloží s písiky**, které vykazuje nejlepší vydatnost a hlavně zde díky pohybu spodních vod dochází k neustálé regeneraci. **Dalším významným faktorem je hloubka a průměr armovacího koše**, což ovlivňuje počet metrů potrubí, které je možné do piloty navinout.“[3]

Počet, velikost a hloubka jednotlivých pilot se u staveb liší a návrh provádí specialista na obor statiky. Na stavbách se setkáváme s piloty o průměru 120 – 1 200 mm a hloubek 3 – 30 m. Oproti klasickému složení piloty: vrtaná díra, kovový armovací koš a beton, je instalována do těchto pilot smyčka z potrubí, v níž obíhá nemrznoucí kapalina. Smyčky od jednotlivých pilot jsou vedeny skrz základy až do technické místnosti, kde se spojují v rozdělovačích a sběračích. Hlavním páteřním vedením je vedeno medium až do tepelného čerpadla.[5]

„Na závěr je důležité vědět, že využití energetických pilot pouze pro vytápění nebo pouze pro chlazení není neefektivní z hlediska investice a následné výši úspory. Vždy je doporučováno, aby systém pracoval v režimu vytápění / chlazení. Základy budovy mají pouze omezenou tepelnou kapacitu, kterou můžeme třeba pouhým chlazením základů vyčerpat. Další energie nepřichází. Základy nejsou ovlivňovány přímým nebo nepřímým slunečním zářením jako je tomu u zemních plošných kolektorů. V lokalitách, kde je pohyb spodní vody,

je možné energii čerpat bez omezení. Tedy jen kombinace silně zvodněného a štěrkového podloží s pohybem vod zaručuje neomezený přísun energie.“ [3]

4. Příklady aplikací energetických pilot v ČR a zahraničí

Pro správný návrh hloubkového geotermálního systému při zakládání je nezbytné vypracovat podrobnou analýzu hydrogeologického průzkumu, optimalizaci energetických požadavků na budovu, použití vhodných materiálů v celém systému, slnění technických předpisů na správné rozmístění systému a zhotovení podle přesných technologických postupů.

4.1 AZ Tower v Brně

AZ Tower představuje moderní, ekologickou, ekonomickou úspornou budovu s rekordní výškou 111 m, která je naprosto nepřehlédnutelnou dominantou jižního předměstí Brna a patří k nejvyšší budově v České republice.[18]

Až třicetimetrové hloubkové pilotové založení bylo využito jako energetické piloty. Toto je v Česku zcela jedinečné. S pomocí tepelných čerpadel v zimě jímají teplo a v létě se ochlazují.[19]

Unikátní je také systém kombinace přirozeného a nuceného větrání v kancelářích a apartmánech. Fasáda výtahové šachty o celkové ploše 700 m², je pokryta fotovoltaickými panely, které slouží jako samostatný zdroj elektrické energie, jež dodávají do společných prostor budovy.[20]



Obrázek 23: AZ Tower[22]

Stavba je založena na frézované milánské stěně a 118 podzemních pilotách, kdy bylo do 108 z nich vloženo jímací potrubí – čímž se staly energopilotami, vedoucí do hloubky až 30 m. Piloty poslouží spolu s 150 kW tepla z chlazení technických místností k vytápění komerčních a obchodních prostor v nižších patrech objektu. Díky stálosti tepelných zátěží z technologických center je systém schopen pružně přecházet mezi stavy těžení a regenerací pilot, dodáváním/odebíráním tepla do podloží. Velkopřůměrové energopiloty jsou jedním z ekologických řešení budov s potenciálem až 230 kW tepelné energie. Energetickou kapacitu snižuje geologická situace v podloží budovy. Podzemní garáže jsou sice pod hladinou podzemní vody, ale základová deska položená na pilotách dosahuje do nepropustných zemin tak, že piloty nebudou zcela v proudech podzemní vody. [21]

Potrubí do pilot je z vysokohustotního zesíťovaného **polyetylenu GEROtherm PE – GT – Xc**. Pomocí **zesíťování dochází k vylepšení vlastností PE, toto se zejména týká teplotní a tlakové odolnosti, odolnosti proti vzniku trhlin a rázové houževnatosti při nízkých teplotách**. Potrubí v pilotě bude mít **Ø25x 2,3 mm, PN 12,5**. [23]

Potrubí je v jednotlivých armovacích koších navinuto na vnitřní, nebo vnější stranu. Kde se potrubí k armovacímu koši **přípevní pomocí plastových vázacích pásků** (obr. 24). [23]



Obrázek 24: přípevnění pomocí plastových vázacích pásků [23]

4.1.1 Provedení energetických pilot

4.1.1.1 Energetické piloty oØ 600 mm a Ø 900 mm

Energetických pilot o Ø 600 mm bylo realizováno celkem 68 kusů různých délek. Minimální vnitřní průměr armovacího koše je Ø 312 mm. [23]

Energetické piloty o Ø 900 mm bylo realizováno celkem 9 kusů. Délky jednotlivých pilot jsou různé a uvedeny v tabulkách výrobce. Minimální vnitřní průměr armovacího koše je Ø 596 mm. V pilotách těchto průměrů je navinut 1 okruh. Potrubí je navinuto na vnitřní straně armovacího koše. V horní části jsou 2 vratné smyčky, které jsou umístěny na vnitřní straně. V dolní části jsou 3 vratné smyčky, které jsou z prostých důvodů (umístění násypky pro betonáž) vytaženy na vnější stranu armovacího koše. [23]

V horní části armovacího koše je upevněna PVC chránička (DN100) tlakovací sestavy. **Potrubí z pilot jsou mezi sebou spojeny do pilotových skupin a napojeny na horizontální vedení pomocí elektrokolen Ø 25 mm**, které vedou středem podlahové konstrukce, kde je potrubí opatřeno chráničkou, ohnuto a vyvedeno kolmo z podlahy v místě, kde se v druhé fázi realizoval rozdělovač/sběrač. Minimální poloměr ohybu je 325 mm. V podlahové konstrukci je instalováno těsnicí element, který zamezuje průniku spodní vody. [23]

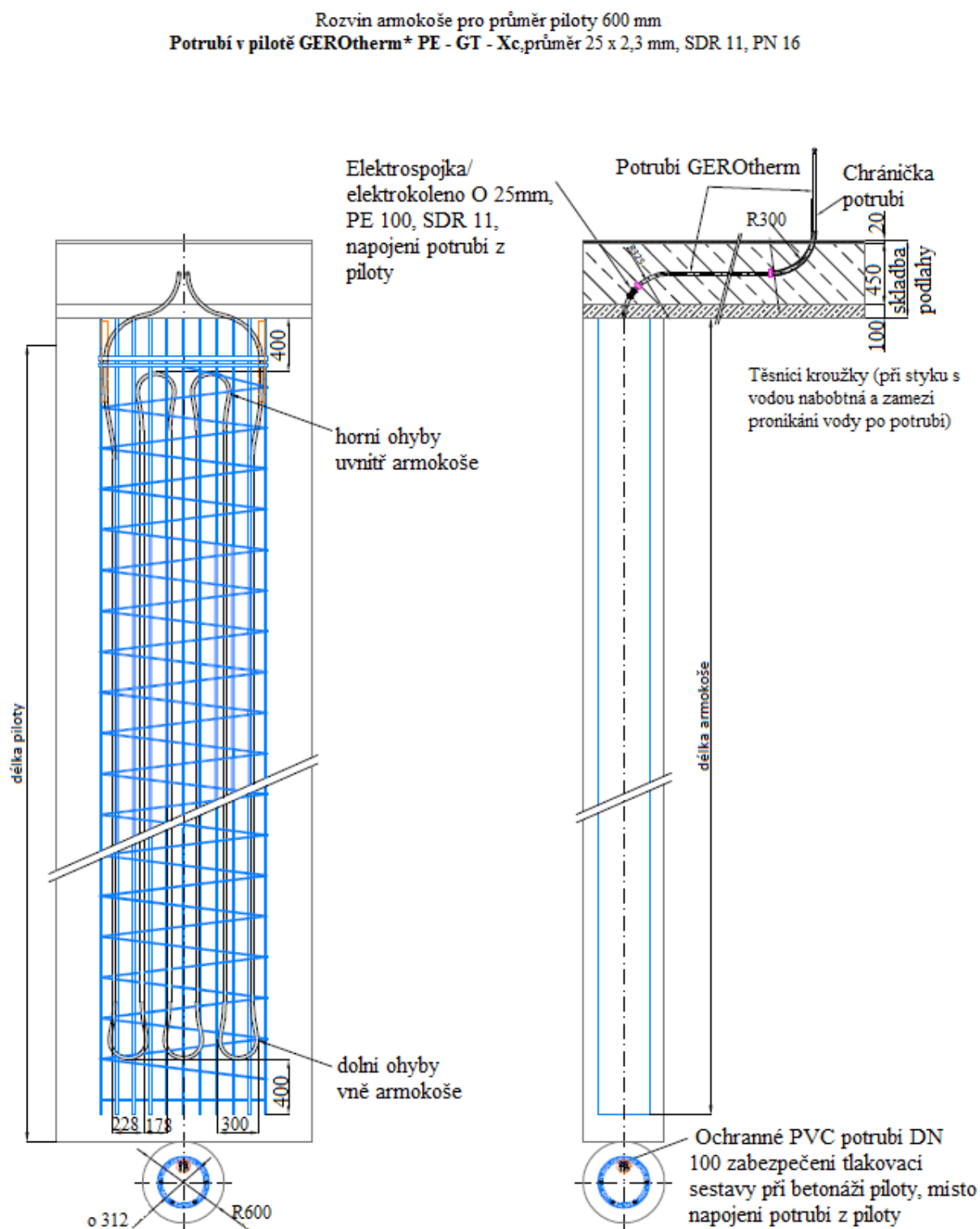
4.1.1.3 Energetické piloty oØ 1200 mm

Energetických pilot Ø 1200 mm bylo realizováno celkem 23 kusů. Délky jednotlivých pilot jsou různé a uvedeny v tabulkách výrobce. Minimální vnitřní průměr armovacího koše je Ø 908 mm. [23]

V pilotách tohoto průměru byly navinuty 2 okruhy. Potrubí i vratné smyčky byly navinuty na vnitřní straně armovacího koše. V horní části armovacího koše jsou 4 vratné smyčky a v dolní části 6 vratných smyček. V horní části armovacího koše jsou upevněny dvě PVC chráničky (DN100) tlakovacích sestav. [23]

Potrubí ústící z pilot byly napojeny pomocí redukcí počtu okruhů 2 x Ø25 – 1 x Ø25 mm tak, aby byly vždy spojeny dvě studené a dvě teplé větve z jednotlivých okruhů v pilotě. Dále vedeny středem podlahové konstrukce, kde je potrubí opatřeno chráničkou, ohnuto a vyvedeno kolmo z podlahy v místě, kde je v druhé fázi realizován rozdělovač/sběrač.

Minimální poloměr ohybu je 325 mm. V podlahové konstrukci je instalován těsnicí element, který zamezuje průniku spodní vody. [23]



Obrázek 25: Energetická pilota průměru 600 mm [23]

Tepelná čerpadla odebírají teplo z energetických pilot. V celkovém počtu 100 pilot je nainstalováno cca 11km potrubí a to 8 km potrubí v pilotách a 3 km v základové desce. Tyto energetické piloty slouží jako akumulátor energie. V letním období jsou piloty nabíjeny odpadním teplem vzniklým při chlazení. Toto teplo se ukládá do pilot a do okolní zeminy a je využito v zimním období, kdy je potřeba vytápět. Tepelná čerpadla vytápí celou spodní (třípodlažní) část objektu a ohřívají teplou vodu pro restauraci, fitness a zázemí autoservisu, tedy místa s největší potřebou (spotřebou) TUV. Celý systém topení a chlazení je řízen počítačem s dálkovým přístupem a možností ovládání přes webový prohlížeč. [7]



Obrázek 26: výstavba AZ Tower[24]

4.2 12 Lofts Bubeneč v Praze

Mezi další realizace v České republice patří výstavba tří bytových domů BUBENEČ 12 v Praze. Moderně řešené bydlení ve stylu loftových bytů zahrnuje systém energetických pilot.[25]

Jde o první instalaci společnosti GEROTop, kde byla použita tato technologie. Hlavním účelem energetických základů v tomto projektu je zajištění optimální teploty přes letní období v maximálně prosklených interiérech. [26]

Budovy využívají potenciál zemní tepelné energie. Budova je založena na pilotách, které spolu se základovou deskou fungují jako zdroj chladu pro pasivní chlazení objektů. Tato technologie nepotřebuje žádnou další energii a pracuje se zde pouze s teplotou země, tedy „chladem“ země. Jediným spotřebičem v systému chlazení jsou oběhová čerpadla se zanedbatelným odběrem v porovnání s výkonem systému.[25]

Základ objektu 12 LOFTS tvoří 78 pilot o průměrech 620 – 900 mm. Délky jednotlivých pilot se pohybují v rozmezí 5 – 13 m. Dále byla využita kompletně celá základová deska o rozměrech 25 x 63 m, která je společná pro všechny tři objekty. Do energetických pilot a základové desky bylo aplikováno 7,2 km potrubí určeného speciálně do základů budov. Celý systém energetických základů poskytuje 60 kW chladu.[25]

Další možností, jak dosáhnout dostatek výkonu pro tepelné čerpadlo, byly klasické vrtvy pro tepelné čerpadlo pod základovou deskou. Při porovnání nákladů by však zdroj chladu v podobě hlubinných vrtů představoval v této variantě třikrát vyšší investici.[25]



Obrázek 27: 12 LOFTS Bubeneč[27]

4.3 Technopolis Innova 2 – Finsko

Budova byla postavena na jaře roku 2012, nachází se na břehu Jyväskylä ve Finsku. Šestipatrová budova Technopolis Innova 2 je první místo ve Finsku, kde byly použity energetické piloty, které využívají geotermální energii, spolupráce s firmou Uponor a Rukki. Ocelové energetické piloty jsou vřáněné nebo vrtané do země a poskytují budově stabilní založení a velké množství využitelné energie.[28]



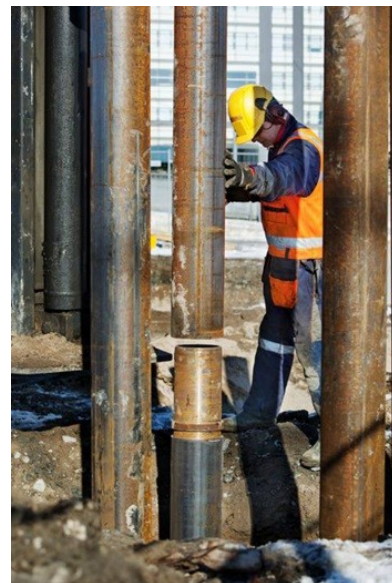
Obrázek 28: Budova - Innova 2 [28]

V současné době je stále běžnější, že budovy mají špatné podloží, proto využíváme piloty. Příkladem je právě Innova 2 v centru Jyväskylä, podloží je relativně měkké a podzemní voda je v hloubce pouze 1,5 m. Ocelové piloty, které se používají pro základy, působí jako vedlejší struktura a energetické řešení. Energetické piloty využívají volnou geotermální energii pod budovou. Jsou vhodné pro použití v obchodních a kancelářských budov (jako je Innova 2), tam kde je potřebují pro vytápění a chlazení.[28]

Topný systém využívá energii, která je uložena v zemi, zatímco nízká teplota se používá pro chlazení a naopak. V létě se přebytečné teplo vrací zpět do země, což zajišťuje, že teplota půdy zůstává dostatečná pro výrobu energie.[28]

Rukki dodala na místo celkem 181 pilot, z nichž 38 byly energetické piloty o celkové délce potrubí 2,3 km. 30 m piloty byly zapaštěny do Uponor PE – Xa U sondy. Sběrné obvody pak byly připojeny k potrubí, které byly instalovány do podlahy. [28]

Použití energetických pilot zlepšuje energii účinnosti budovy a snižuje uhlíkovou stopu. Dosáhli jsme velmi dobrých výsledků. Produkce energetické piloty byla lepší než se předpokládalo“ říká Kesti. [28]



Obrázek 29: Innova 2[28]

4.4 Hamk – Finsko

Výstavba byla dokončena v květnu 2015 ve Finsku jako kancelářské budovy, s první prakticky nulovou energií haly. Hala vytvořila nové prostory pro centrum výzkumné jednotky Häme univerzity aplikovaných věd (Hamk). Slouží také pro činnost, výzkum, vývoj a výuku. Hala získává energii především z energetických pilot a solárních panelů. Budova využívá obnovitelný zdroj energie co nejefektivněji. [29]



Obrázek 30: Budova Hamk [29]

Stavební projekt v kombinaci s několika různými opatřeními zvýší energetickou účinnost. Je výbornou volbou pro energetický systém pilot vyvinutý společně Uponor a Rukki. Piloty jsou doplněny sluneční energií. V zimě energetické piloty slouží k vytápění. V létě se přenos tepelné energie, která se vyrábí solárními kolektory instalovanými na střeše a chladičským systémem, vrací zpět do země. Energie ze země je vhodná pro výrobu energie. Instalace byla dokončena bez problémů. [29]

Na místě Uponor nainstaloval celkem 2,8 km sběrného potrubí do 60 energetických pilot v létě 2014. Energetické piloty a další řešení, která využívají obnovitelné zdroje energie, poskytují řadu výhod pro vlastníky nemovitostí. Ve Finsku je to jediná hala, která může pracovat s tak nízkou spotřebou.[29]



Obrázek 31: Hamk[29]

5. Závěr

Energetické piloty jsou použity jako základy budov se špatným podložím stavebního pozemku. Piloty se v poslední době stále častěji uplatňují u rozsáhlejších staveb, jako jsou obchodní centra, sportovní haly, administrativní budovy apod.

Současné teoretické poznatky využívání energetických pilot v procesu zakládání staveb, jejichž podstata vyplývá z aktivace betonových částí základů tepelnými výměníky uzavřeného okruhu s nemrznoucí tekutinou ve vodorovném nebo svislém uspořádání, dokazují ekonomické a environmentální výhody pro řešení alternativního zdroje systematicky střídajícího ohřívací a ochlazovací provoz novostaveb.

Každé nové řešení aplikování energetických pilot při zakládání novostaveb vyžaduje individuální přístup a spolupráci s geologem, statikem, architektem, projektantem TZB a dodavatelskou firmou daného systému, která má zkušenosti s řešenou problematikou.

V České republice jsou zatím energetické piloty málo využívány. Díky zvyšování počtu zahraničních investorů na našem trhu pro využívání obnovitelných zdrojů energie má však mírně stoupající tendenci. Poptávka po energetických pilotách by mohla stoupat. Mohou být pro investory důležitými aspekty nízké emise budov, spolehlivost systému a rychlá návratnost investic.

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří mě podporovali při studiu a tvorbě bakalářské práce. Zejména děkuji rodině a přátelům za psychickou podporu, doc. RNDr. Evě Hrubéšové, Ph.D. za vedení, konzultace a cenné rady při psaní práce a také firmě GEROtop za poskytnuté informace.

Seznam použité literatury

1. Energetické piloty. Dostupné na internetu: <http://energie21.cz/alternativou-jsou-energeticke-piloty/>
2. Geotermální energie. Dostupné na internetu: http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Geothermal_pile_foundations
3. GE-TRA s.r.o.: Energetické piloty – využití konstrukcí budov pro jímání energie. Dostupné na internetu: <http://www.ge-tra.cz/problematiky/energeticke-piloty>
4. GeoCore s.r.o.: Energetické piloty. Dostupné na internetu: <Http://www.geocore.cz/zakladni-zpusoby-ziskavani-energie/energeticke-piloty.html> [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.geocore.cz/zakladni-zpusoby-ziskavani-energie/energeticke-piloty.html>
5. Energetické piloty. *Tzb info* [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4977-vyuzivani-stavebnich-konstrukci-budov-pro-ukladani-energie>
6. UPONOR: Ground energy technical information. Dostupné na internetu: <https://www.uponor.lt/~media/uponor-global/solutions-bld/indoor-climate-pg-lines/indoor-climate/ground-energy/ground-energy-technical-information.pdf?version=1>
7. AZ Tower v Brně, obrázek kce piloty. Dostupné na internetu: <http://www.ice-energy.cz/az-tower>
8. VDI 4640 (part 1): 2010, Thermal use of the underground. Fundamentals, approvals, environmental aspects
9. Tepelné čerpadlo. Thermal response test. *Teplo ze zeme: thermal response test* [online]. [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.teplozezeme.cz/nabidka-trt/>
10. Tepelné čerpadlo. Thermal Response Test. Dostupné z internetu: http://www.mmtec.co.jp/en/stories/consulting/heatpump_e.html
11. Tepelné čerpadlo země – voda. Dostupné z internetu: <http://www.tckuchar.cz/tepelna-cerpadla/tepelne-cerpadlo-zeme-voda/>
12. Tepelné čerpadlo země – voda. Dostupné z internetu: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla/zeme-voda.php>

13. Tepelné čerpadlo země – voda. Dostupné z internetu: <http://projekt.bonorum.cz/energetika-a-tzb/alternativni-zdroje-energie/>
14. Energopilota. Dostupné na internetu: <http://www.separaeko.cz/kategorie/komplexni-sluzby/energopiloty-pro-tc>
15. TURČEK Peter – SLAVÍK Ivan: Zakladanie stavieb. Bratislava: STU, 2002. ISBN: 80-277-1699-5
16. FRANKOVSKÁ Jana – SÚĽOVSKÁ Monika – TURČEK Peter: Zakladanie stavieb. Podklady k navrhovaniu, plošné a hlbkové základy. Bratislava: STU, 2011. ISBN: 978-80-227-3622-0
17. TURČEK Peter a kolektív: Zakládání staveb. Bratislava: Jaga group s.r.o., 2005. ISBN: 80-8076-023-3
18. AZ Tower v Brně. Dostupné z internetu: <http://www.aztower.org/o-az-tower/o-budove>
19. AZ Tower v Brně. Dostupné z internetu: <http://www.bvv.cz/envibrno/envibrno-2012/aktuality/nejvyssi-cesky-dum-az-tower-v-brne4/>
20. AZ Tower v Brně. Technologie, dostupné z internetu: <http://www.aztower.org/o-az-tower/technologie>
21. AZ Tower v Brně. Informace dostupné z internetu: http://www.lafarge.cz/2013_01.pdf
22. Az Tower v Brně: Obrázek, dostupný z internetu: <http://stavbaweb.dumabyt.cz/az-tower-6126/clanek.html>;
23. Dokumentace AZ Tower – piloty, 1. fáze. Dostupné od firmy GEROTop.
24. AZ Tower v Brně, obrázky; dostupné z internetu: <http://www.psj.cz/budova-az-tower-brno-monoliticka-konstrukce.html>
25. Lofts Bubeneč v Praze. Dostupné na internetu: <http://www.4-construction.com/cz/clanek/energeticke-piloty-aplikovane-do-praxe/>
26. Lofts Bubeneč v Praze. Dostupné na internetu: <http://www.gerotop.cz/cs/sluzby/tepelna-cerpadla-primarni-okruhy/energeticke-zaklady-budov/chlazení-bytového-objektu/>
27. Lofts Bubeneč v Praze. Obrázky dostupné na internetu: <http://www.hochtief.cz/nase-projekty/referencni-projekty/sprava-majetku/12-lofts-bubenec>
28. Technopolis Innova 2 – Finsko. Uponor, dostupné na: <https://www.uponor.cz/cs-CZ/site-data/layer/system/detailed-reference-view-layer.aspx?id=B722BDA7-0786-4A75-8725-1D2DE183E783&PDF=print&mobile=0>

29. Hamk – Finsko. Uponor, dostupná na: <https://www.uponor.cz/cs-CZ/site-data/layer/system/detailed-reference-view-layer.aspx?id=C9F1D1FD-FB82-4C22-A2E8-4C0C4D3EAB9D&PDF=print&mobile=0>
30. Energetické piloty. Dostupné z internetu: <https://www.rehau.com/download/681326/anybinary-zisviev1ra-0njde-e7mcq--.pdf>
31. Energetické piloty. Dostupné z internetu: <https://www.uponor.cz/vicepodlazi-domu/geoterm%C3%A1ln%C3%AD-energie/energetick%C3%A9-piloty.aspx>
32. Konstrukce energetické piloty. GEROtop – prezentace.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Specifický odběrový výkon na metr hloubky pilot[30]	18
Tabulka 2: Maximální poloměry ohybu potrubí PE-Xa podle venkovní teploty[30]	33
Tabulka 3: Referenční hodnoty pro určení počtu potrubí podle průměru piloty[6]	33

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schematické znázornění energetických pilot[6]	13
Obrázek 4: Konstrukce piloty na stavbě[7]	14
Obrázek 2: Schéma energetických pilot pod objektem[5]	14
Obrázek 3: Konstrukce energetické piloty[5]	14
Obrázek 5: Konstrukce energetické piloty[32]	15
Obrázek 6: Tepelné využití energetických pilot v ročním období[6]	16
Obrázek 7: Thermal Response Test[10]	20
Obrázek 8: Přístroj - měření teplotní odezvy[9]	21
Obrázek 9: Teploty hornina v závislosti na hloubce a ročním období[6]	22
Obrázek 10: Princip tepelného čerpadla země-voda[13]	23
Obrázek 11: Energopilota [14]	24
Obrázek 12: Sestava vrtaných pilot a prefabrikovaný beton vrtaných pilot[6]	26
Obrázek 13: Instalace energetických pilot se zavrtanou výpažnicí[6]	27
Obrázek 14: Instalace energetických pilot metodou vhánění prefabrikovaných energetických pilot[6]	28
Obrázek 15: Montáž sběrného potrubí na armovací koš[6]	29
Obrázek 16: Tlaková zkouška[23]	30
Obrázek 17: Instalační varianty[6]	31
Obrázek 18: U – sonda [30]	32
Obrázek 19: Připojení potrubí k horizontální přípojce a napojení na kari síť[6]	34
Obrázek 20: Izolovaná potrubí varianta pro spojky vratného toku [6]	35
Obrázek 21: Způsob uložení připojovacího potrubí (bez izolace/ s izolací)[6]	36
Obrázek 22: Objem vody na rozměru potrubí[6]	36
Obrázek 23: AZ Tower[22]	38
Obrázek 24: připevnění pomocí plastových vázacích pásků[23]	39
Obrázek 25: Energetická pilota průměru 600 mm [23]	41
Obrázek 26: výstavba AZ Tower[24]	42
Obrázek 27: 12 LOFTS Bubeneč[27]	43
Obrázek 28: Budova - Innova 2 [28]	44
Obrázek 30: Budova Hamk [29]	45
Obrázek 29: Innova 2[28]	45
Obrázek 31: Hamk[29]	46